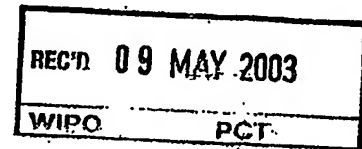


10/512119

PCT/IB 03 / 01442

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND** 22.04.03

10 Rec'd PCT/PTC 01 OCT 2004

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 18 565.4

**Anmeldetag:** 26. April 2002

**Anmelder/Inhaber:** Philips Corporate Intellectual Property GmbH,  
Hamburg/DE

**Bezeichnung:** Startprozess-Steuerung für den Anlauf eines  
Piezomotors

**IPC:** H 02 N, B 06 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 17. Oktober 2002  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

Hoß



## BESCHREIBUNG

### Startprozess-Steuerung für den Anlauf eines Piezomotors

Die Erfindung bezieht sich auf eine Startprozess-Steuerung

- mit einem spannungsgesteuerten Frequenzgenerator (VCO), einer  
5 Leistungsendstufe und einem Resonanzkonverter; wobei
  - der Frequenzgenerator (VCO) die erforderlichen Steuersignale der  
Leistungsendstufe erzeugt,
  - der Resonanzkonverter die treppenförmige Ausgangsspannung der  
10 Leistungsendstufe in eine sinusförmige Spannung an seinem Ausgang  
umwandelt,
  - mit der sinusförmigen Spannung des Resonanzkonverters der Piezomotor  
betrieben wird,
  - der beim Betrieb des Piezomotors fließende Motorstrom gemessen und in einem  
Phasenvergleich mit der Phase der Ansteuerspannung verglichen wird,
  - 15 - das Ausgangssignal des Phasenvergleichers ein Maß für die aktuelle  
Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung ist,
  - ein Loop-Filter (phase locked loop filter) das Phasendifferenzsignal glättet,
  - das geglättete Signal den Frequenzgenerator (VCO) steuert.
- 20 Aus der DE 199 42 269 ist eine Ansteuerungselektronik für einen Piezomotor (z.B. Micropushmotor ) bekannt. Man legt den Piezomotor an eine phasengeregelte Wechselspannung. Während des Betriebes wird der aufgenommene Strom des Piezomotors über eine Diode gemessen. Die Phasenlage des Stromes wird durch einen Vergleich mit der eingespeisten Motorspannung erkannt. Eine besondere Eigenart des Piezomotors ist es,
- 25 dass der Strom durch den Motor und damit die von ihm aufgenommene Leistung bei Belastung abnimmt. Dies steht im Gegensatz zu elektromagnetischen Antriebssystemen, bei denen der Strom unter Last anwächst.

Diese Eigenschaft des Piezomotors ist auf das Anwachsen der inneren Widerstände des Systems zurückzuführen.

5 Beim Entwurf eines Piezomotors und seiner Ansteuerung ist also zu berücksichtigen, dass der Strom, bzw. die angelegte Motorspannung, im Lastbetrieb nachzuführen ist und damit die Motorleistung an die Last anzupassen ist.

10 Ein weiterer bekannter Effekt ist, dass sich infolge einer sich ändernden, also variablen Last gleichzeitig die Resonanzfrequenz des Piezomotors ändert. Dies führt dazu, dass wiederum die aufgenommene Wirkleistung und der Wirkungsgrad des Motors abnehmen. Die beiden beschriebenen Effekte verstärken sich in der Weise, dass der Motor gegebenenfalls zum Stillstand kommt. Gleichzeitig wird die Phasenregelung in einen Selbstblockadezustand gebracht, aus dem sie in der Regel nicht herausfindet. Ein selbständiger Wiederanlauf ist nicht mehr gewährleistet. Dieser Abkip- oder Stillstands-  
15 effekt ist damit begründet, dass der Schwinger aus dem kapazitiven Arbeitsbereich heraus über seine Resonanz in den induktiven Bereich gefahren wird, wobei sich eine Phasendrehung einstellt.

20 Es ist Aufgabe der Erfindung, einen zuverlässigen und stabilen Anlauf unter unterschiedlichen Belastungen zu gewährleisten.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß gelöst durch zwei in den Ansprüchen 1 und 10 beschriebene Ausführungsvarianten, die für sich allein einsetzbar aber auch miteinander kombinierbar sind.

25

Die erste, in Anspruch 1 beschriebene Ausführungsvariante ist gekennzeichnet durch ein Starthilfeschaltelement, dass beim Anlauf die Ausgangsspannung des Loop-Filters (phase locked loop) festlegt und somit auf den Eingang des Frequenzgenerators (VCO) eine konstante Spannung legt.

30

Die Einführung dieses Starthilfeelementes hat den Vorteil, dass die vom Frequenz-  
generator (VCO) gelieferte Motorfrequenz auf eine sichere Betriebsfrequenz gestellt  
wird. Ohne das genannte Starthilfeelement und seine beschriebene Wirkung würde die  
5 Steuerfrequenz beim Anlauf unter Last durch die Phasenregelung zu schnell durch den  
Regelbereich fahren und die Regelschleife in Selbstblockade gebracht werden, bevor der  
Motor die Last in Bewegung setzen kann.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der ersten Ausführungsform ergeben sich aus den  
10 dem Anspruch 1 untergeordneten Unteransprüchen. Diese Ausgestaltungen beziehen  
sich auf die Ausbildung des Schalthilfeelementes, das ein Schaltelement schaltet und den  
geeigneten Zuschaltzeitraum.

Die zweite, in Anspruch 10 beschriebene Ausführungsvariante ist gekennzeichnet durch  
15 ein einstellbares Zeitverzögerungsglied, mit dem der Phasenwinkel zwischen der ange-  
legten Motorspannung und dem Motorstrom im Anlaufbetrieb von einem zunächst  
großen Startwinkel zum sicheren Losbrechen in Richtung auf einen kleineren Winkel im  
Betriebspunkt so verändert wird, dass der Anlauf unabhängig vom Lastzustand sicher  
abgeschlossen wird.

20 Der Verlauf der Phasenwinkelveränderung ist frei vorgebar. Er richtet sich nach der  
Last und der für den optimalen Wirkungsgrad bei Nenndrehzahl erforderlichen  
Resonanzfrequenz. Die Einstellung muss so erfolgen, dass die vom Motor aufge-  
nommene Leistung im kapazitiven Bereich bleibt, der Wert der Resonanzfrequenz also  
25 nicht überschritten wird.

Die zwei Ausführungsformen der Erfindung werden anhand der Zeichnungen näher  
erläutert. Es zeigen:

30 Fig. 1 ein Blockschaltbild der ersten Ausführungsform, bei dem zum Anlaufen des

Motors eine Startprozess-Schaltung eingesetzt wird, die mittels einer Startwertvorgabeschaltung und eines Loop-Filters einem Prozessgenerator eine gesicherte Spannung zuführt,

- 5 Fig. 2 ein etwas spezielleres Blockschaltbild für das Zusammenwirken von Startprozesssteuerung, Startwertvorgabeschaltung und Loop-Filter,

Fig. 3 das Blockschaltbild der zweiten Ausführungsform, bei der das Anlaufverhalten mittels eines einstellbaren Verzögerungsgliedes beeinflusst wird, das beim Anlauf den

- 10 Phasenwinkel einstellt bzw. verstellt,

Fig. 4 ein Diagramm, das die Drehzahl über dem Phasenwinkel aufzeigt,

Fig. 5 ein Diagramm, in dem der Phasenwinkel über der Zeit dargestellt ist,

15

Fig. 6 ein Blockschaltbild mit einer Einrichtung, bei der der Phasenwinkel linear über der Zeit verändert wird,

Fig. 7 ein Blockschaltbild einer Einrichtung, bei der über eine Wertetabelle der Phasenwinkel über der Zeit verändert wird.

20

In Fig. 1 ist die erste Ausführungsform der Startprozess-Steuerung für den Anlauf eines Piezomotors mit einem spannungsgesteuerten Frequenzgenerator 1 (VCO), einer Leistungsendstufe 2 und einem Resonanzkonverter 3 dargestellt. Der Resonanzkonverter 3 wandelt eine treppenförmige Ausgangsspannung der Leistungsendstufe 2 in eine sinusförmige Spannung am Ausgang des Resonanzkonverters 3 um. Der Frequenzgenerator 1 (VCO) erzeugt die erforderlichen Steuersignale der Leistungsendstufe 2. Mit der sinusförmigen Spannung des Resonanzkonverters wird der Piezomotor 4 betrieben. Der dabei in der Leitung 5 fließende Motorstrom  $i_k$  wird gemessen. Der Stromwert  $i_k$  wird in einem Phasenvergleich 6 mit der Phase der Ansteuerspannung  $u_d$  in der Leitung

25  
30

7 verglichen. Das Ausgangssignal  $s_1$  des Phasenvergleichers 6 in der Leitung 7a ist ein Maß für die aktuelle Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung. Ein Loop-Filter 8 (Filter einer Phasenregelschleife) glättet das Phasendifferenzsignal. Das geglättete Signal steuert den Frequenzgenerator 1 (VCO).

5

Die Spannung des Loop-Filters 8 kann beim Start absinken. Dies ist unerwünscht.

Deshalb ist eine Startwertvorgabeschaltung 9 vorgesehen, die beim Start zugeschaltet wird und dafür sorgt, dass die Spannung des Loop-Filters 8 beim Startvorgang konstant gehalten wird. Für das Zuschalten der Startwertvorgabeschaltung 9 sorgt ein

10 Starthilfeschaltelement 10, das durch eine Startprozesssteuerung 11.1 angesteuert wird. Das Starthilfeschaltelement 10 verbindet dazu die Startwertvorgabeschaltung 9 mit dem Loop-Filter 8 unter Zuhilfenahme der Startprozess-Steuerung 11.1 solange bis der Frequenzresonator 1 im eingeschwungenen Zustand ist.

15 Fig. 2 zeigt beispielhaft den Aufbau der Startprozess-Steuerung 11.1, der Startwertvorgabeschaltung 9 und des Loop-Filters 8. Auf der linken Seite ist eine mögliche Ausführung dieser Startprozess-Steuerung 11.1 dargestellt. Auf der rechten Bildseite ist das Loop-Filter 8 abgebildet. Dazwischen befinden sich die Startwertvorgabeschaltung 9 und das Starthilfeschaltelement 10.

20

Die Startwertvorgabeschaltung 9 besteht im allgemeinen aus einem Widerstand  $R_e$  und einer Spannungsquelle  $U_e$ . Die Spannungsquelle  $U_e$  wird so gewählt, dass bei ihr der Frequenzgenerator 1 die optimale Losbrechfrequenz erzeugt. Der Widerstand  $R_e$  wird so gewählt, dass er viel kleiner ist als die Ausgangsimpedanz des Phasenvergleichers 6. Der

25 Aufbau des Loop-Filters 8 und seine Dimensionierung ist in den herkömmlichen Datenblättern für PLL-Bausteine beschrieben. Das Starthilfeschaltelement 10 besteht aus der Startwertvorgabeschaltung 9 und einem Schaltelement 10a, das die Zuschaltung der Startwertvorgabeschaltung 9 zum Loop-Filter 8 vornimmt. In einfachster Ausführung kann allein ein Widerstand  $R_r$  (Fig. 1) parallel zum Loop-Filter 8 geschaltet werden.

30

Nach dem Einschalten der beiden Versorgungsspannungen  $U_b$  und  $U_l$  zum Zwecke des Motorstarts wird das Starthilfeschaltelement 10 durch ein über eine Leitung A von der Startprozess-Steuerung 11.1 her auflaufendes Aktivierungssignal eingeschaltet. Das Aktivierungssignal bewirkt dabei das Losbrechen des Motors. Gleichzeitig werden die  
5 Kondensatoren 12,13 der beiden Zeitglieder 14,15 aufgeladen. Hat das Aktivierungssignal die Schwellspannung des Starthilfeelementes 10 erreicht, wird die Startwertvorgabeschaltung 9 mittels des Schaltelementes 10a abgetrennt.

Die zweiten Ausführungsform der Erfindung arbeitet mit einer Phasenverschiebung.  
10 Diese in Fig. 3 dargestellte Startprozess-Steuerung für den Anlauf des Piezomotors 4 arbeitet wieder mit einem spannungsgesteuerten Frequenzgenerator 1, einer Leistungs-  
endstufe 2 und einem Resonanzkonverter 3. Der Resonanzkonverter 3 wandelt die treppenförmige Ausgangsspannung der Leistungsstufe 2 in eine sinusförmige  
Spannung am Ausgang des Resonanzkonverters 3 um. Wesentlich ist bei diesem Aus-  
15 führungsbeispiel ein einstellbares Zeitverzögerungsglied 15, einem Zeitverzögerungs-  
element, mit dem der Phasenwinkel zwischen der angelegten Motorspannung und dem Motorstrom im Anlauf betrieb von einem zunächst großen Startwinkel zum sicheren  
Losbrechen in Richtung auf einen kleineren Winkel im Betriebspunkt so verändert wird,  
dass der Anlauf unabhängig vom Lastzustand sicher abgeschlossen wird.

20 Der Frequenzgenerator 1 erzeugt die erforderlichen Steuersignale der Leistungsstufe 2. Mit der sinusförmigen Spannung des Resonanzkonverters 3 wird der Piezomotor 4  
betrieben. Der dabei fließende Motorstrom  $i_s$  wird gemessen. Der von dem einstellbaren,  
programmierbaren Verzögerungselement 15 phasenverschobene Stromwert wird im  
25 Phasenvergleich 6 mit der Phase der Ansteuerspannung verglichen. Die Zeitvorgabe  
für das Verzögerungselement 15 wird von der Startprozesssteuerung 11.2 geliefert. Das  
Ausgangssignal des Phasenvergleichers 6 ist ein Maß für die aktuelle Phasendifferenz  
zwischen Strom und Spannung. Der Loop-Filter 8 glättet das Phasendifferenzsignal. Das  
geglättete Signal steuert den Frequenzgenerator 1.

Fig. 4 zeigt anhand eines Diagramms, den optimalen Betriebswinkel für einen Piezo-motor. Für Nenndrehzahl ( Betriebspunkt ) ist aus Fig. 4 ein Winkel von beispielsweise von  $40^\circ$  abzulesen. Ein gesichertes Anlaufen unter Last ist bei einem Phasenwinkel von  $> 60^\circ$  gewährleistet.

5

In Fig. 5 sind beispielhaft zwei Anlaufkurven für die Winkelvorgabe über der Zeit aufgetragen. Kurve 1 zeigt einen linearen Verlauf. Hierbei besteht die Gefahr, dass die Winkeländerung (der Winkelschritt) im kritischen Lastbereich (nahe dem Betriebspunkt) zu schnell erfolgt. Kurve 2 zeigt einen Kurvenverlauf, der das vorbeschriebene Problem beseitigt. In der Nähe des definierten Zielwinkels werden kleinere Änderungen des Phasenwinkels pro Zeitschritt eingestellt. Zudem wird durch den progressiven Verlauf der Winkelvorgabe in der Anfangsphase des Anlaufs schneller ein Betrieb mit hohem Wirkungsgrad erreicht. Die Phasenwinkelverminderung während des Anlaufes kann die Form einer Rampe aufweisen. Ebenso kann die Phasenwinkelverminderung während des

10 Anlaufvorganges mittels eines digitalen Zählers 15a bewirkt werden. Der Startwert des Zählers legt dabei in vorteilhafter Weise den Phasenwinkel fest. Auch kann der Startvorgang mittels des Zählers bestimmt werden. Weiterhin ist mittels eines Zählers 11a der Startvorgang bestimmbar.

15

20 Fig. 6 zeigt beispielhaft eine Schaltung, die den Kurvenverlauf 1 aus Fig.5 erzeugt. Die linke Bildhälfte zeigt die Startprozesssteuerung 11.3, und die rechte Bildhälfte zeigt das programmierbare Verzögerungselement 15. Zur Startprozesssteuerung 11.3 gehört ein binärer Zähler 11a mit Takteingang 11b, dem über einen Eingang 21 ein Signal mit einer Frequenz  $f_{res}$  gleich der VCO-Frequenz zugeführt wird. Darunter ist ein binärer Zähler

25 11b vorgesehen. Ihm werden über eine Leitung 22 ein Signal  $\phi$ -Start und über eine Leitung 23 ein Start-Signal zugeführt. Zum programmierbaren Verzögerungselement 15 gehört ein Zähler 15a mit Takteingang 15b.

Der Zähler 11a der Startprozesssteuerung 11.3 hat ein festvorgebbares Zeitintervall; er

30 kann einzelne oder mehrere Schwingungen zählen. Ebenso kann der Zähler 11a



Schwingungen einer zeitgebenden Referenzfrequenz zählen. Die Zählwerte des Zählers 11a werden unmittelbar zum Setzen der Phasenverzögerung eingesetzt und ebenso in den Setzwert der Phasenverzögerung übertragen. Der Zähler 11a startet mit einem bestimmten Wert, der der Winkelverschiebung entspricht, die einen sicheren Anlauf ermöglicht (siehe Fig. 4). Der Zähler 11a zählt von diesem Wert aus bei jedem Zähl-  
5 impuls abwärts; er ist mit dem Zähler 15a verbunden. Von der Verbindungsleitung  $S_{11}$  zweigt eine Leitung zu einem Vergleichler 6 ab. Der Vergleichler 6 stoppt diesen Zählvorgang in dem Augenblick, in dem der Zähler 11a den vorgegebenen Endwert erreicht hat. Der Endwert ist so gewählt, dass ein optimaler Betriebswinkel vorhanden  
10 ist. Dies bedeutet, dass der Zähler 11a bei jedem Startvorgang einmal vom vorgegebenen Startwert bis zum Endwert zählt.

Der Zähler 15a des programmierbaren Verzögerungselementes 15 wird beim „0“-Durchgang des Stromsignals  $s_s$  gestartet. Dies geschieht, in dem er auf den Vorgabewert,  
15 der von der Startprozesssteuerung 11.3 geliefert wird, eingestellt wird. Beginnend mit diesem Wert zählt der Zähler 15a abwärts, bis er auf dem Zählstand „0“ stehen bleibt. Dieser Vorgang wiederholt sich mit jedem Nulldurchgang des Motorstroms. Das Ausgangssignal  $s_a$  des Verzögerungselementes 15 dient als Stoppsignal  $s_o$  des Zählers 15a. Dadurch wird erreicht, dass das Nulldurchgangssignal des Motorstromes verzögert  
20 weitergeleitet wird. Die vorgegebene Taktfrequenz  $s_i$  für das Verzögerungselement 15 wird beispielsweise aus einem Quarzoszillator geliefert.

Fig. 7 zeigt beispielhaft eine Schaltung, die den Kurvenverlauf 2 aus Fig. 3 erzeugt. Die linke Bildhälfte zeigt die Startprozesssteuerung 11.4, und die rechte Bildhälfte zeigt das  
25 gegenüber Fig. 4 unveränderte programmierbare Verzögerungselement 15. Zur Startprozesssteuerung 11.4 gehört ein binärer Zähler 11a mit Takteingang 11b. Dem Takteingang 21 wird eine Frequenz  $f_{res}$  gleich der VCO-Frequenz zugeführt. Dem binären Zähler 11a werden über die Leitung 22 ein Signal  $\phi$  Start und über die Leitung 23 das Startsignal zugeführt. Daneben ist eine Wertetabelle 16 dargestellt. Zum programmier-  
30 baren Verzögerungselement 15 gehört ein Zähler 15a mit Takteingang 15b.

Der Zähler 11a der Startprozesssteuerung 11.4 hat ein fest vorgebbares Zeitintervall. Er startet mit einem bestimmten Wert, der der Anzahl der Werte in der Wertetabelle 16 entspricht. Beginnend mit diesem Wert zählt der Zähler 11a beispielsweise abwärts, bis er auf dem Zählerstand „0“ stehen bleibt. Dies bedeutet, dass der Zähler 11a bei jedem

5 Startvorgang einmal vom vorgegebenen Startwert bis zum Endwert „0“ zählt. Die Zählwerte werden mittels der Tabelle 16 in Setzwerte der Phasenverzögerung in eine Speichervorrichtung (RAM oder ROM) übertragen. In der Wertetabelle 16 sind die einzelnen binären Größen abgelegt, die das Verzögerungselement 15 für die gewünschten Winkelverschiebungen benötigt. Der erste Wert entspricht der Winkelver-

10 schiebung, die einen sicheren Anlauf ermöglicht. Der Aufstartvorgang wird dabei in vorteilhafter Weise von einer programmierbaren Steuervorrichtung, wie einem nicht dargestellten Mikroprozessor oder einem DSP überwacht. Dieser Prozessor kann die Phasenverzögerung digital überwachen. Der Endwert der Phasenverschiebung ist so gewählt, dass ein optimaler Betriebswinkel eingestellt ist.

15

Der Zähler 15a des programmierbaren Verzögerungselementes 15 wird durch das Stromsignal  $s_s$  gestartet. Dies geschieht, in dem er auf den Vorgabewert, der von der Startprozesssteuerung 11.4 geliefert wird, eingestellt wird. Dieser Vorgang wiederholt sich mit jedem Nulldurchgang des Motorstroms. Das Ausgangssignal  $s_{11.2}$  des Ver-

20 zögerungselementes 11.4 ist das Stoppsignal des Zählers 15a. Dadurch wird erreicht, dass das Nulldurchgangssignal des Motorstromes verzögert weitergeleitet wird.

Die vorgegebene Taktfrequenz  $s_i$  für das Verzögerungselement 15 wird beispielsweise aus einem Quarzoszillator geliefert.

25

30

PATENTANSPRÜCHE

## 1. Startprozess-Steuerung für den Anlauf eines Piezomotors (4)

- mit einem spannungsgesteuerten Frequenzgenerator (1)(VCO), einer Leistungsendstufe (2) und einem Resonanzkonverter (3), wobei
- der Frequenzgenerator (1)(VCO) die erforderlichen Steuersignale der Leistungsendstufe (2) erzeugt,
- der Resonanzkonverter (3) die treppenförmige Ausgangsspannung der Leistungsendstufe (2) in eine sinusförmige Spannung an seinem Ausgang umwandelt,
- mit der sinusförmigen Spannung des Resonanzkonverters (3) der Piezomotor (4) betrieben wird,
- der beim Betrieb des Piezomotors (4) fließende Motorstrom gemessen und in einem Phasenvergleich (6) mit der Phase der Ansteuerspannung verglichen wird,
- das Ausgangssignal des Phasenvergleichers (6) ein Maß für die aktuelle Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung ist,
- ein Loop-Filter (8) (phase locked loop filter) das Phasendifferenzsignal glättet,
- das geglättete Signal den Frequenzgenerator (1)(VCO) steuert,
- ein Starthilfeschaltelement (10) beim Anlauf die Ausgangsspannung des Loop-Filters (8) ( Filter der Phasenregelschleife ) festlegt und somit auf den Eingang des Frequenzgenerators (1)(VCO) eine konstante Spannung legt.

2. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Starthilfeelement (1) aus einem Schaltelement (10a), einer Spannungsquelle ( $U_c$ ), und einem Widerstand ( $R_c$ ) besteht, die parallel zum Loop-Filter (8) schaltbar sind.

5

3. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Widerstand ( $R_{c1}$ ) in Reihe geschaltet ist mit einer Spannungsquelle ( $U_c$ ).

10 4. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Schaltelement (10a) einen Widerstand ( $R_c$ ) parallel zum Loop-Filter (8) schaltet.

5. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 1,

15 dadurch gekennzeichnet,

dass die zeitliche Länge eines Aktivierungssignals für das Schaltelement (10) auf eine feste Zeitdauer nach dem Anlaufstart eingestellt ist.

6. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 1,

20 dadurch gekennzeichnet,

dass das Aktivierungssignal das Losbrechen des Motors (4) bewirkt.

7. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

25 dass das Aktivierungssignal durch den „Leistung-ein“ gesteuert wird.

8. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Aktivierungssignal von einem digitalen Zähler oder einer Zustandsmaschine (state-machine) erzeugt wird.

5

9. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass das Aktivierungssignal von einem digitalen Prozessor erzeugt wird.

10 10. Startprozess-Steuerung für den Anlauf eines Piezomotors (4)

- mit einem spannungsgesteuerten Frequenzgenerator (1) (VCO), einer Leistungsendstufe (2) und einem Resonanzkonverter (3), wobei

- der Frequenzgenerator (1) (VCO) die erforderlichen Steuersignale der Leistungsendstufe (2) erzeugt,

15 - der Resonanzkonverter (3) die treppenförmige Ausgangsspannung der Leistungsendstufe (2) in eine sinusförmige Spannung an seinem Ausgang umwandelt,

- mit der sinusförmigen Spannung des Resonanzkonverters (3) der Piezomotor (4) betrieben wird,

- der beim Betrieb des Piezomotors (4) fließende Motorstrom gemessen und in einem

20 Phasenvergleich (6) mit der Phase der Ansteuerspannung verglichen wird,

- das Ausgangssignal des Phasenvergleichers (6) ein Maß für die aktuelle Phasendifferenz zwischen Strom und Spannung ist,

- ein Loop-Filter (8) (phase locked loop filter) das Phasendifferenzsignal glättet,

- das geglättete Signal den Frequenzgenerator (1)(VCO) steuert,

25 - ein einstellbares Zeitverzögerungsglied (15) vorgesehen ist, mit dem der Phasenwinkel zwischen der angelegten Motorspannung und dem Motorstrom im Anlaufbetrieb von einem zunächst großen Startwinkel in Richtung auf einem kleineren Winkel im Betriebspunkt so verändert wird, dass der Anlauf unabhängig vom Lastzustand sicher

abgeschlossen wird.

11. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,

- 5 dass die Phasenwinkelverminderung während des Anlaufvorganges die Form einer Rampe aufweist.

12. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,

- 10 dass die Phasenwinkelverminderung während des Anlaufvorganges mittels eines digitalen Zählers (15a) bewirkt wird.

13. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,

- 15 dass der Startwert des Zählers (15a) den Phasenwinkel festlegt.

14. Startprozess-Steuerung nach Ansprüche 12,  
dadurch gekennzeichnet,

dass mit dem Endzählwert des Zählers (15a) der Phasenwinkel festgelegt ist.

20

15. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,

dass der Startvorgang mittels eines Zählers (11a) bestimmt wird.

25 16. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 15,  
dadurch gekennzeichnet,

dass der Zähler (11a) einzelne oder mehrere Schwingungen der Resonatorfrequenz zählt.

17. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 15,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Zähler (11a) Schwingungen einer taktgebenden Referenzfrequenz zählt.
- 5 18. Startprozess-Steuerung nach Ansprüche 15,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Zählwerte des Zählers (11a) unmittelbar zum Setzen der Phasenverzögerung eingesetzt werden.
- 10 19. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Zählwerte übertragen werden in den Setzwert der Phasenverzögerung.
20. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 10,  
15 dadurch gekennzeichnet,  
dass die Zählwerte übertragen werden in Setzwerte der Phasenverzögerung mittels einer Tabelle (16) in einer Speichervorrichtung ( RAM oder ROM).
- 20 21. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass der Aufstartvorgang von einer programmierbaren Steuervorrichtung wie einem Mikroprozessor oder einem DSP überwacht wird.
22. Startprozess-Steuerung nach Anspruch 21,  
25 dadurch gekennzeichnet,  
dass der Mikroprozessor die Phasenverzögerung digital überwacht.



**Fig. 1**



Fig. 2



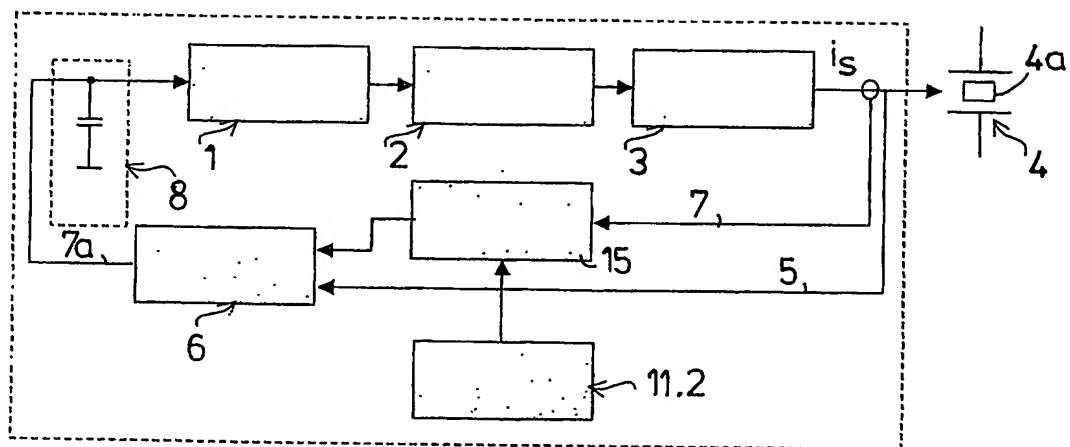


Fig. 3

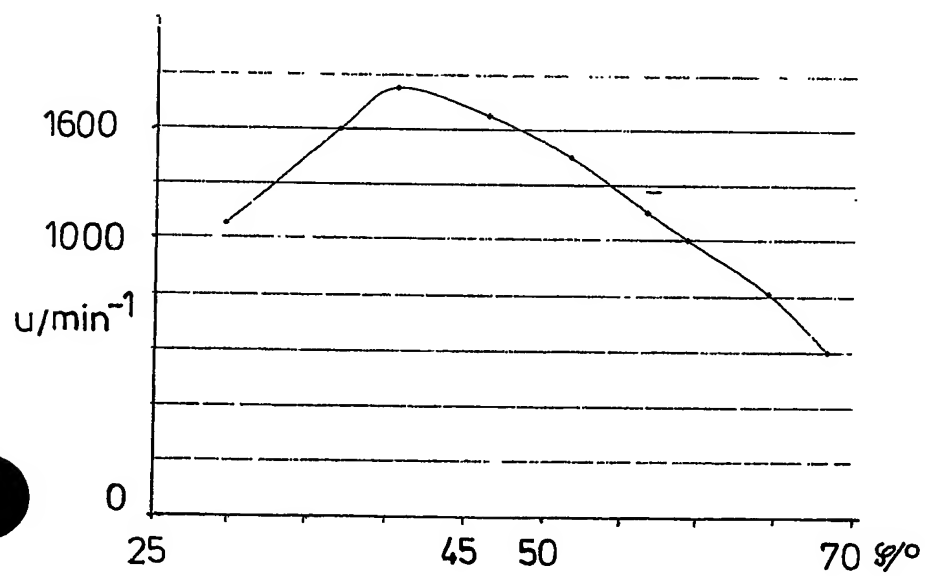


Fig. 4

3/4

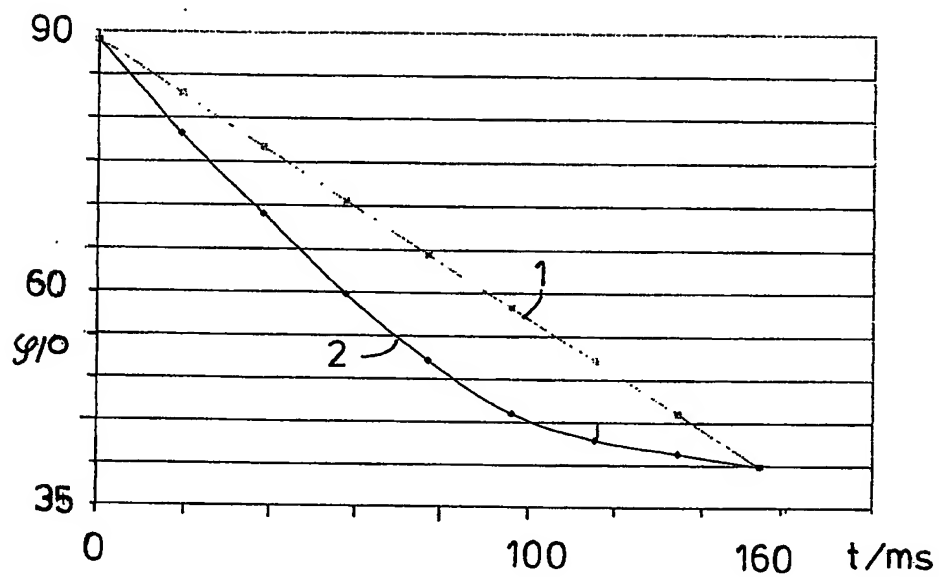


Fig. 5

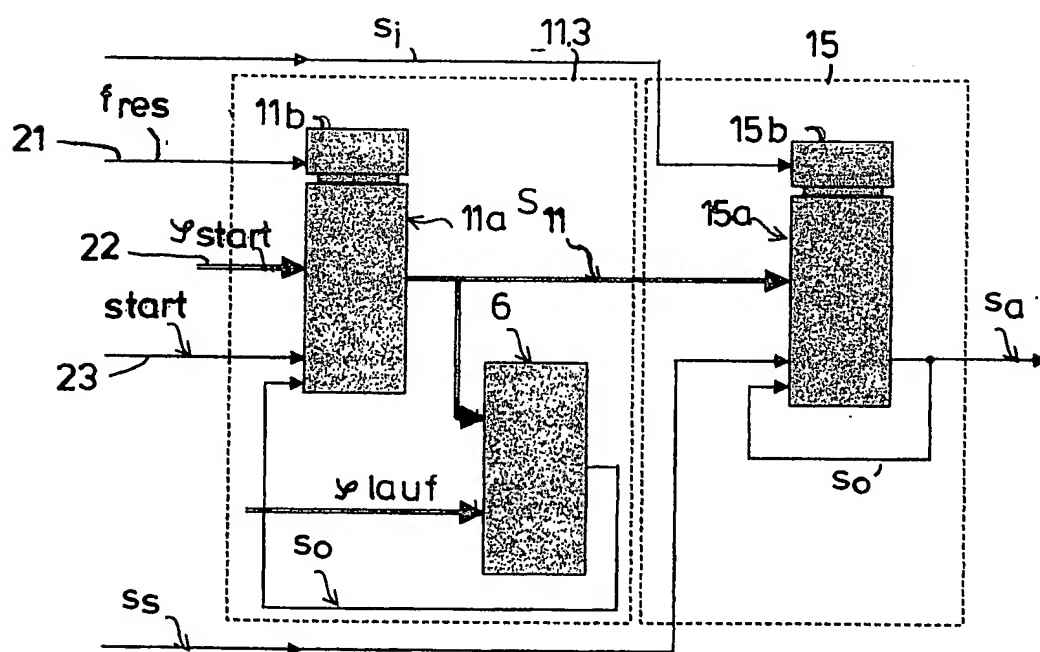


Fig. 6

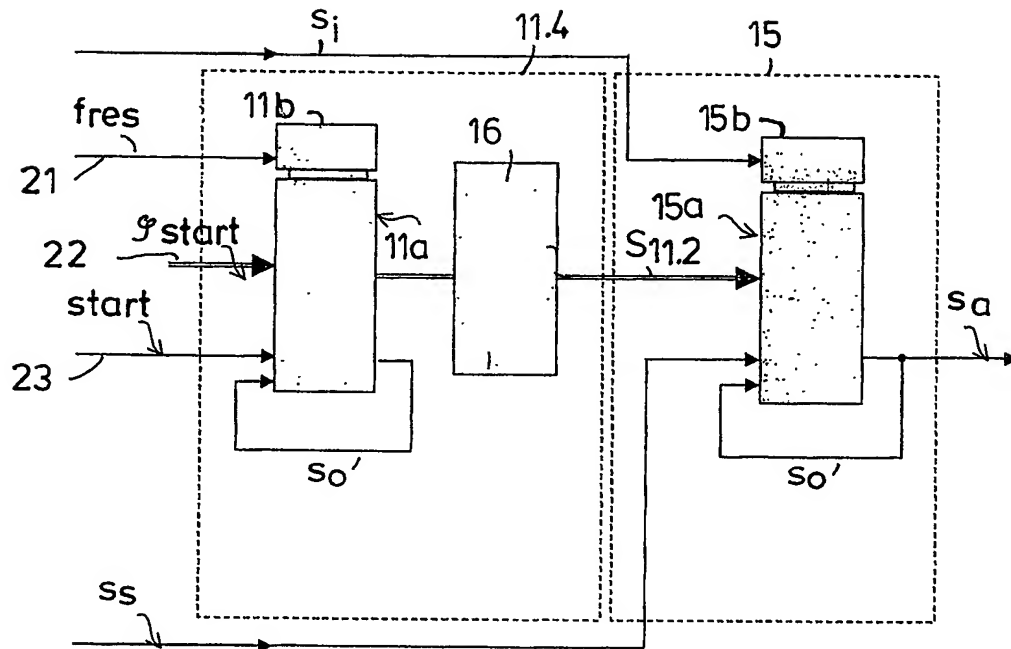


Fig. 7

## ZUSAMMENFASSUNG

### Startprozess-Steuerung für den Anlauf eines Piezomotors

Die Erfindung bezieht sich auf eine Startprozess-Steuerung für den Anlauf eines Piezomotors (4) mit einem spannungsgesteuerten Frequenzgenerator (1)(VCO), einer  
5 Leistungsendstufe (2) und einem Resonanzkonverter (3), der die erforderlichen  
Steuersignale der Leistungsendstufe (2) erzeugt und die treppenförmige Ausgangs-  
spannung der Leistungsendstufe (2) in eine sinusförmige Spannung an seinem Ausgang  
umwandelt, mit der der Resonanzkonverters (3) der Piezomotor (4) betrieben wird. Der  
beim Betrieb des Piezomotors (4) fließende Motorstrom wird gemessen und in einem  
10 Phasenvergleichs (6) mit der Phase der Ansteuerspannung verglichen wird. Dabei ist  
das Ausgangssignal des Phasenvergleichers (6) ein Maß für die aktuelle Phasendifferenz  
zwischen Strom und Spannung. Ein Loop-Filter (8) (phase locked loop filter) glättet das  
Phasendifferenzsignal, das seinerseits den Frequenzgenerator (1)(VCO) steuert. Bei  
dieser Startprozess-Steuerung (11) ist ein Starthilfeschaltelement (10) vorgesehen, dass  
15 beim Anlauf die Ausgangsspannung des Loop-Filters (8) festlegt und somit auf den  
Eingang des Frequenzgenerators (1)(VCO) eine konstante Spannung legt.

Fig. 1

